

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：31303

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2023

課題番号：20K22450

研究課題名（和文）熱的快適性を考慮した森林資源の地産地消に基づく地域型木造住宅の継承・発展手法

研究課題名（英文）Succession and development method of regional wooden houses based on local production for local consumption of forest resources considering thermal comfort

研究代表者

栗原 広佑（KURIHARA, Kosuke）

東北工業大学・ライフデザイン学部・講師

研究者番号：60883874

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：熱的快適性からみた地域型木造住宅の継承・発展手法に関する知見を得る事を目的に、金山町の地域型木造住宅における薪ストーブ使用時の室内温熱環境の実測調査を行った。その結果、過度に気積が大きくない住宅では薪ストーブ1台による全館暖房が成立し、建具の開閉による気積の調整も有効な手法である点が明らかになった。熱的性能が比較的低い伝統型の住宅でも冬季は暖房範囲を局所に限定し高出力な薪ストーブを使用することで過度な室温低下を防いでいる。年間を通した快適な室内温熱環境形成を図る上では、設備的手法のみではなく夏季・冬季それぞれの住まい方の変更も有効な手法である点を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後の住宅の省エネルギー化を図る上で、設備機器の使用のみに依存した室温調整以外の方策を検討する必要性は高い。本研究では農山村地域における地域型木造住宅を事例に、再生可能エネルギー利用の一例である薪ストーブ使用時の室内温熱環境形成と住宅の仕様との関係性に着目した。特にエネルギー消費量が多い冬季の暖房時における室内温熱環境形成の実態と、薪ストーブ使用との相性が良い住宅に仕様について明らかにした点は、森林資源に恵まれた我が国において今後の薪ストーブに代表される木質バイオマス燃焼機器の普及を図る上で意義のある知見が得られたものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to obtain a method for the inheritance and development of regional wooden houses from the viewpoint of thermal comfort, we conducted a measurement survey of the indoor thermal environment when using a wood stove in a regional wooden house in Kaneyama Town, Yamagata prefecture, Japan. The results showed that in houses with a not excessively large air volume, a single wood stove can heat the entire house, and that adjusting the air volume by opening and closing fixtures is also an effective method. Even in traditional houses with relatively low thermal performance, excessive drops in room temperature are prevented by limiting the heating area to a specific area and using a high-output wood stove in winter. We clarified that to create a comfortable indoor thermal environment throughout the year, not only equipment methods but also changes in the way of living in summer and winter are effective methods.

研究分野：建築環境工学

キーワード：薪ストーブ 地域型木造住宅 室内温熱環境 熱的快適性 住まい方

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

低炭素社会の形成に向けた方策の一つに、再生可能な森林資源の循環的利用がある。我が国は国土の約7割が森林であり、同時に戦後拡大造林による資源の蓄積が本格的な利用時期を迎えて久しい。木造在来軸組工法が大きなシェアを占める我が国では、住宅用木材としての利用がこれらの森林資源の利活用方策として期待されるとともに、近年では再生可能な熱エネルギー供給源という側面からの需要も高まっている。森林資源の木質バイオマス燃料としての利用促進に関する取組みは、例えば平成25～28年に実施された「木質バイオマスエネルギーを活用したモデル地域づくり推進事業」など、東日本大震災による原発事故後を境として拡がりを見せているものの、大規模な設備導入が必要な点や、国産燃料の供給量不足を指摘する声もあり、課題が多い。

一方で、特に複雑な設備導入を必要としない小規模な木質バイオマス燃料利用の代表例として、薪ストーブの家庭用暖房器具としての利用がある。概ね戦後高度経済成長期以前には家庭用の熱エネルギー源として薪や炭といった燃料は一般的であり、特に農山村地域では暖房、調理及び給湯用の熱エネルギー源として森林資源の地産地消が普遍的に行われていた。しかしながら、昨今では森林資源が豊かな農山村地域の大部分でも電力や化石燃料に依存した現代的な生活が営まれている事が実情である。今後の低炭素社会を目指す上で、少なくとも森林資源が豊かな農山村地域において家庭用熱エネルギー源として森林資源の地産地消を現代の生活に再編する事は重要かつ実現性が高い課題である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、熱的快適性を考慮した地域型木造住宅の継承・発展に向けた知見を構築する事である。調査対象地域は森林資源の建材・燃料としての地産地消が比較的高い割合で普及している山形県最上郡金山町(以下、金山町という)であり、本研究では同町の地域型木造住宅における薪ストーブ使用時に形成される室内温熱環境の実測調査を行う。金山町は良材「金山杉」を産出する林産地として知られており、この金山杉を地産地消する取組みとして、真壁・切妻屋根のデザインを基本とした地域型木造住宅の普及による町並み景観形成に取り組んでいる。また、金山町は冬季に寒冷かつ積雪量が多い日本海型気候を示し、薪ストーブに代表される森林資源の燃料利用が比較的高い割合で普及している。金山町の地域型木造住宅を対象とした研究では、町内における住宅用木材の自給構造や町並み景観形成という観点から学術的知見が蓄積されているものの、実際に建設された建築物とその生活環境の実態に関する検証は十分ではない。本研究では、熱的快適性という観点から金山町の地域型木造住宅の評価を行う点、その結果に基づき今後の継承・発展に向けた住宅モデルの提案を目指す点に学術的独自性と創造性がある。

## 3. 研究の方法

金山町において冬季に薪ストーブを使用している地域型木造住宅を中心とした戸建住宅を対象に、室内温熱環境の実測調査を行なった。具体的には薪ストーブが設置されている室(以下、暖房室という)で気温、相対湿度、グローブ温度を、暖房室に隣接する室(以下、隣接室という)と上階の室(以下、上階室という)で気温を床上高さ1.1mで5分間隔で測定した。調査対象住宅は金山町内の家屋形態や断熱仕様が異なる住宅を選定した。2022年度冬季に9戸、2023年度夏季に6戸、2023年度冬季に3戸の住宅で、それぞれ2～3週間程度の期間に室内温熱環境の実測調査を行なった。住宅の間取りや断熱仕様については住民が所有する図面資料から確認し、適宜実測調査を行なった。また、冬季・夏季の住まい方や薪ストーブの使用方法、薪の調達方法等についてヒアリング調査を行なった。

## 4. 研究成果

### 1) 2022年度冬季の調査結果

冬季の主たる暖房機器として薪ストーブを使用していた6戸の調査結果に着目した報告を示す。調査対象の概要を表1に示す。住宅の建築年は様々であり、5、6は戦前に建築されたものを改修し使用している。改修にあたり6では屋根に断熱材を導入したが、5では断熱材は導入せず当初の厚さ500mmの茅葺屋根(ススキ)が残存している。4は断熱材が普及する以前の建築であり無断熱である。1、2は比較的高断熱な仕様である。薪ストーブの素材は全て鋳鉄製であり、4、5は品番が不明であったが一次燃焼式の薪ストーブであった。6のみ早朝に隣接室で石油ファンヒーターを間欠的に使用している。いずれの対象も暖房室より広い範囲を暖房範囲としているが、1～3は相対的により広い範囲を暖房範囲としている点が特徴的である。薪ストーブの使用パターンとして、終日使用する場合と、朝や夜に間欠的に使用する場合が確認された。本報では6戸全てが終日使用していた2023年2月11日と2月19日の結果に着目した。アメダス金山観測所によると、日平均気温は2月11日が0.9、2月19日が2.2と2月の平年値と比較してやや温暖な気象条件であった。それぞれの暖房時間における平均気温、気温の標準偏差、最高気温、最低気温を図1に示

す。1の結果をみると、暖房室の平均気温は24.2～24.4 と相対的に高く、気温の変動幅が小さい。また、上階室の平均気温は28.0～28.9 と暖房室よりも高温であり、隣接室の平均気温も23.5～24.3 と暖房室との差が小さい。2の結果を見ると、暖房室の平均気温は20.6～22.8 と中間的であるが、吹き抜けを介して繋がっている上階室の平均気温は21.1～23.7 と暖房室よりもやや高温である。隣接室は暖房室と襖で仕切られており、平均気温は14.1～15.7 と上階室と比較して十分に暖まっていない。3については、2月11日は隣接室の襖を開けており、平均気温はそれぞれ暖房室が25.5、上階室が24.7、隣接室が18.9 と全体的に高温であったが、それぞれ気温の変動幅が大きかった。隣接室の襖を閉めていた2月19日の平均気温は暖房室が20.8、上階室が21.7 であったが、隣接室は9.3 とほとんど暖房室の熱が伝達していない。4は暖房室及び暖房範囲の面積・気積が比較的小さい事例であり、住宅本体の断熱性能は低いものの、暖房室の平均気温は25.4～25.9、隣接室の平均気温は20.5～21.1 と相対的に高温であった。一方で、上階室は暖房室と直接接しておらず、暖房室の影響を受けずに低温であった。5は暖房室の平均気温が18.0～21.4 と相対的に低温であった。隣接室・上階室の平均気温はそれぞれ6.0～6.5 と低温であり、暖房室の影響を受けていない。6は暖房室の平均気温が17.7～18.4 と相対的に低温であり、隣接室も十分に暖まっていないものの、衣類乾燥室として使用している上階室は22.1～22.3 と相対的に高温であった。6の上階室には暖房室からの煙突が貫通している他、上階室床の煙突周りに約0.2m<sup>2</sup>の通気口があり、煙突からの放射と通気口からの対流による影響があったと考えられる。以上から、薪ストーブ使用時には暖房室に開放されている室には熱が伝達し、特に上階室により多くの熱が伝達する事が明らかになった。調査対象 1、2 について、暖房室での薪ストーブ使用が隣接室と上階室の気温形成に及ぼす影響

表 1. 調査対象の概要

調査対象	1. 地域型・平屋	2. 地域型・総2階A	3. 地域型・総2階B	4. 地域型・一部2階	5. 伝統型・平屋	6. 伝統型・総2階
建築年	1997	2015	1990	1978	1925	1901
改修年	2019	-	-	-	1976	1988
改修内容	床断熱強化	-	-	-	茅葺屋根(コタン)板増設	茅葺屋根撤去、2階増設
建築面積(m <sup>2</sup> )	119.66	123.38	165.28	214.11	129.6	163.96
延床面積(m <sup>2</sup> )	151.96	219.44	246.23	272.92	129.6	340.35
暖房室	面積(m <sup>2</sup> )	59.21	33.12	26.09	9.94	18.21
	気積(m <sup>3</sup> )	193.84	113.22	145.85	26.53	43.34
隣接室	面積(m <sup>2</sup> )	13.25	13.25	13.25	9.94	24.84
	気積(m <sup>3</sup> )	45.29	33.12	33.72	26.53	60.87
上階室	暖房室との関係	開放	閉鎖(襖)	閉鎖(襖)	開放	閉鎖(板戸)
	面積(m <sup>2</sup> )	13.25	9.94	13.25	14.91	92.75
暖房範囲	面積(m <sup>2</sup> )	24.47	24.05	39.09	35.77	163.15
	気積(m <sup>3</sup> )	78.15	72.15	117.27	125.65	530.63
断熱仕様(mm)	暖房室との関係	開放	開放	壁面一部開放(約1.8m <sup>2</sup> )	閉鎖(外気)	閉鎖(天井板)
	面積(m <sup>2</sup> )	120.50	61.28	88.20	21.53	30.63
薪ストーブ	煙根・天井	グラスウールt=100	ロックウールt=180	不明	無し	床面一部開放(約0.2m <sup>2</sup> )
	壁	グラスウールt=100	ロックウールt=100	グラスウールt=60	無し	グラスウールt=100
薪ストーブ	床	スタyroフォームt=25+発泡ウレタンt=30	ポリエチレンフォームt=100	無し	無し	無し
	品番	MORSO 1600	MORSO 1630CB	SAEY92	不明	不明
薪ストーブ	素材	鉄鉄	鉄鉄	鉄鉄	鉄鉄	鉄鉄
	寸法(W×H×D, cm)	65×38×55	63×39×54	64×38×55	36×32×46	40×33×40
薪ストーブと測定壁の距離(m)	3.0	3.0	3.0	2.1	3.0	3.5

図 1. 代表日における暖房室・隣接室・上階室の室内温熱環境

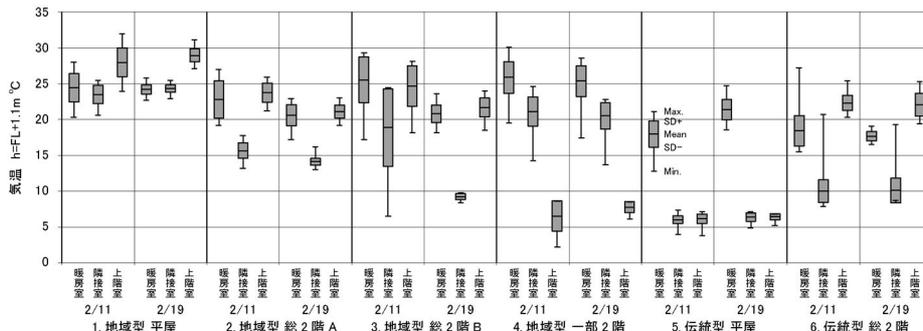


図 1. 代表日における暖房室・隣接室・上階室の室内温熱環境

を詳細に検討するために、調査期間の全暖房時間を抽出し分析を行なった。1の結果を図2に、2の結果を図3にそれぞれ示す。1では暖房室と隣接・上階室との間は開放されており、概ね住宅全体を暖房範囲としている。全暖房時間の気温の平均値は暖房室が23.5であり、隣接室が22.7と暖房室との差が小さく、上階室が27.9と高温であった。暖房室と隣接室は $r=0.86$ 、暖房室と上階室は $r=0.87$ とそれぞれ強い相関があり、薪ストーブ1台で十分に全館暖房できているものと考えられる。2では隣接室は暖房範囲に含んでおらず、暖房室と隣接室との間は測定期間を通して襖で仕切られていた。暖房室と上階室との間は吹き抜けと廊下を介して開放されており、就寝時に上階室の木製引戸を閉めていた。全暖房時間の気温の平均値は暖房室が20.5であり、隣接室が13.0と低温であり、上階室が20.7と暖房室と同程度であった。暖房室と上階室は $r=0.87$ と強い相関があり、上階室には暖房室の熱が十分に伝達している。一方

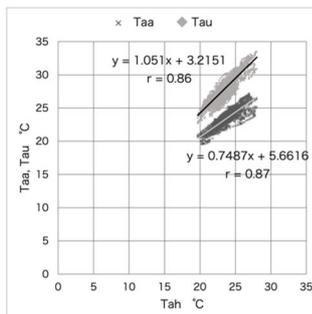


図 2. 1の全暖房時間の調査結果

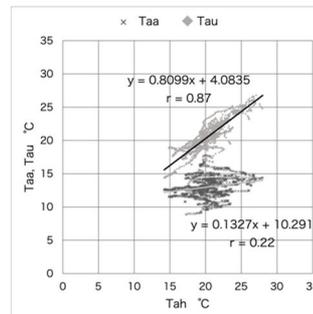


図 3. 2の全暖房時間の調査結果

で、暖房室と隣接室は  $r=0.22$  と相関が弱く、襖で仕切られている隣接室にはほとんど熱が伝達していない。薪ストーブにより出力された熱は開放されている空間により多く伝達する点が目明らかになった。

## 2) 2023年度夏季の調査結果との比較検討

家屋形態が異なる地域型住宅と伝統型住宅を対象に、4戸を調査対象として、冬季と夏季に形成される室内温熱環境の比較検討を行なった。調査対象の平面図、断面図、冷暖房範囲を図4に示す。夏季はBのみでルームエアコンによる冷房がされており、A、C、Dでは冷房機器を使用していないため冷房範囲を定めていない。A、C、Dは窓開けによる通風確保により室内温熱環境を調整しており、C、Dでは住宅正面側の建具を開放し通風を確保している。A、Cでは扇風機を使用している。冬季は全ての対象で薪ストーブによる暖房がされており、CとDでは居間でこたつが、Dでは食堂のみで石油ファンヒーターが補助的に使用されている。各対象の暖房範囲をみると、Aは概ね住宅全体を暖房範囲としており、Bは隣接室を暖房範囲とせず上階室を含めた範囲を暖房範囲としており、CとDは薪ストーブが設置されている居間を中心とした比較的狭い範囲を暖房範囲としている。Dの上階室は居間と40cm程度の通気口で繋がっており、居間の薪ストーブの煙突が上階室内を貫通している。夏季は2023年8月5日～8月16日の12日間に、冬季は2023年2月10日～2月27日の18日間に室内温熱環境の測定を行った。

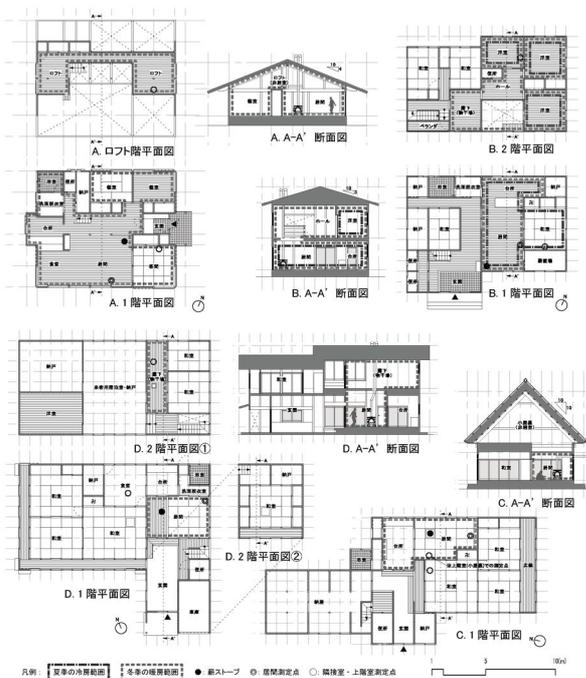


図4. 調査対象住宅の平面図、断面図、冷暖房範囲

典型的な夏季晴天日であった2023年8月13日の居間の気温変動を図5に示す。アメダス金山によると外気の平均気温は27.4であり、最高気温は33.4(13:50に出現)、最低気温は22.3(3:30に出現)であった。外気温が最低となった時刻の各対象の居間の気温をみると、Aは26.3、Bは26.1、Cは25.1、Dは24.4と、地域型の2戸が比較的高温であった。Bでは10:45～21:05の時間帯に居間でルームエアコンを使用しており、ルームエアコン使用時間帯の居間の平均気温は25.5であった。A、C、Dの居間における日中の最高気温をみると、Aは33.3(17:10に出現)、Cは33.7(15:20に出現)、Dは32.1(13:45に出現)と、Dに比較的低温な室内温熱環境が形成された。また、各対象では最高気温が形成される時刻が異なり、Aでは外気の最高気温出現時から最も遅れて最高気温が出現した。日没時刻に最も近い18:35の居間の気温を比較すると、Aは31.9と高温であるのに対して、Cは27.1と気温低下にかかる時間が短い。Aでは日中に取得した熱が蓄熱され、夜間の室内温熱環境が比較的高温になる点が目明らかになった。全ての調査対象が薪ストーブを終日使用していた2023年2月19日の居間の気温変動を図6に示す。アメダス金山によると外気の平均気温は2.1であり、最高気温は5.5(18:10に出現)、最低気温は0.5(6:40に出現)であった。各対象における早朝の予熱開始時刻の気温をみると、Aは20.4(4:15)と高温であり、Bは13.7(6:25)と中間的であり、Cは4.7(8:40)、Dは7.3(6:20)と伝統型の2戸は低温である。Aでは前日の熱が翌朝までに解消されず夜間を通して比較的高温な室内温熱環境が維持される点が目明らかになった。暖房時間に着目すると、Aでは平均気温が24.2と高温かつ気温の変動幅が小さい室内温熱環境が形成された。暖房範囲に上階室を含んでいるBは平均気温が20.6であり、暖房範囲が居間及び台所と局所的であるCでは平均気温が21.4と比較的高温であった。暖房範囲が居間と上階室であるDでは平均気温が17.7と居間には比較的低温な室内温熱環境が形成された。冬季の薪ストーブ使用時には、A、Bでは居間より広い範囲を暖房範囲としながら居間の暖房が成立している。一方で、断熱性能が比較的低いC、Dでは居間を中心とした比較的狭い範囲を暖房範囲とする住まい方を取りながらも、Dの居間は特に低温である点が目明らかになった。

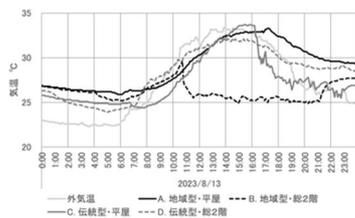


図5. 典型的な夏季晴天日における気温変動

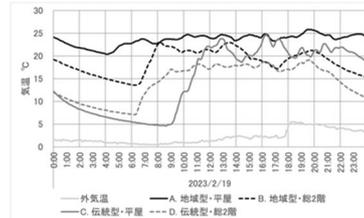


図6. 典型的な冬季晴天日における気温変動

夏季・冬季それぞれの居間

と隣接室・上階室に形成された気温の関係を図7に示す。夏季の結果をみると、Aの居間は25.9～34.3で推移し、隣接室・上階室も概ね同様の値で推移している。伝統型の住宅と比較すると最低気温が高温となる点が明らかになった。Bはルームエアコンを居間・隣接室と上階室それぞれで使用しており各室の気温形成の関係は薄い。Cの居間は22.4～35.0で推移し、隣接室は居間と概ね同様の値で推移した。外気温の上昇に伴い室内も高温となるが、外気温の低下に室内の気温も追従した。また、上階室は相対的に高温となっており、残存している茅葺屋根と小屋裏空間が遮熱層として機能している。Dの居間は23.9～33.8で推移した。隣接室も概ね同様の値で推移し、通風確保のみで室内温熱環境を調整していた調査対象の中では比較的低温であった。冬季の結果をみると、Aの居間の気温は19.7～28.0で推移し、隣接室・上階室にも高温な室内温熱環境が形成された。Aは夏季には比較的高温な室内温熱環境が形成されるが、冬季には薪ストーブ1台による全館暖房が成立しているものと考えられる。Bの居間は14.2～28.0で推移し、暖房範囲に含まれている上階室には気温が14.4～26.8となる比較的高温な室内温熱環境が形成された。Bでは夏季は居間と隣接室を冷房範囲としルームエアコンで、冬季は居間と上階室を暖房範囲とし薪ストーブで室内温熱環境を調整している事が明らかになった。Cの居間は9.8～26.2で推移し、居間の平均気温は18.3と比較的低温であった。隣接室と上階室は居間の薪ストーブ使用の影響を受けず低温であった。Cでは夏季は窓開けによる通風確保により住宅内を一体的に使用し、冬季は薪ストーブを設置している居間に生活範囲を限定する住まい方により室内温熱環境を調整している事が明らかになった。Dの居間は10.6～27.2で推移し、平均気温は15.9と調査対象の中では最も低温であった。隣接室の平均気温は8.1と居間の薪ストーブ使用の影響をほとんど受けていないものの、上階室の平均気温は19.4と居間よりも高温な室内温熱環境が形成された。通気口からの対流と貫通している煙突からの放射の影響により、断熱性能が低い住宅でも上階室には熱が伝達する点が明らかになった。Dの上階室は冬季に洗濯物の物干場として使用されており、冬季の日照時間が短い山形県金山町における住まい方の工夫であると考えられる。

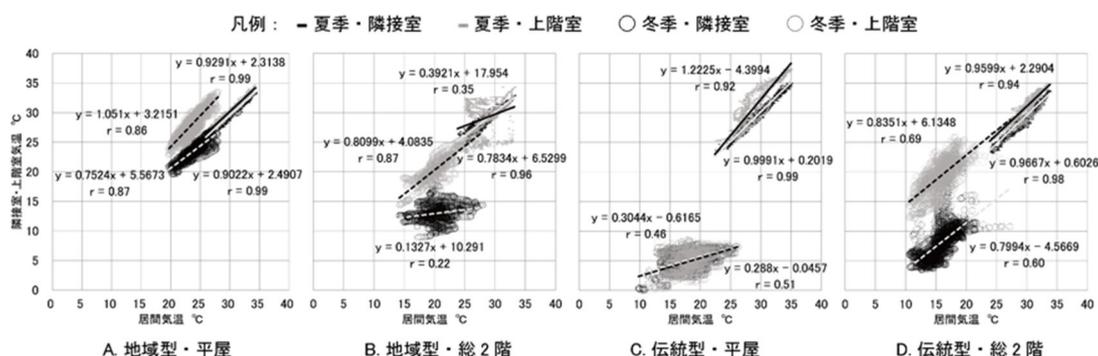


図7. 夏季・冬季における居間と隣接室・上階室との気温形成の関係

農山村地域である山形県金山町の地域型住宅と伝統型住宅を対象に、夏季・冬季それぞれの室内温熱環境の測定調査を行い、以下の知見を得た。地域型の住宅では夏季に冷房機器を使用しない場合には比較的高温となるが、冬季は薪ストーブを使用する事により隣接室や上階室を含めた暖房が成立している。伝統型の住宅では夏季は基本的には窓開けによる通風確保により室内温熱環境を調整しており、冬季は暖房範囲を居間中心に限定し高出力な薪ストーブにより低温になりすぎないように室内温熱環境を調整している。

### 3)まとめ

熱的快適性からみた地域型木造住宅の継承・発展手法に関する知見を得る事を目的に、金山町の地域型木造住宅における薪ストーブ使用時の室内温熱環境の実測調査を行った。その結果、過度に気積が大きい住宅では薪ストーブ1台による全館暖房が成立し、建具の開閉による気積の調整も有効な手法である点が明らかになった。熱的性能が比較的低い伝統型の住宅でも冬季は暖房範囲を局所に限定し高出力な薪ストーブを使用することで過度な室温低下を防いでいる。年間を通した快適な室内温熱環境形成を図る上では、設備的手法のみではなく夏季・冬季それぞれの住まい方の変更も有効な手法である点を明らかにした。

今後の住宅の省エネルギー化を図る上で、設備機器の使用のみに依存した室温調整以外の方策を検討する必要性は高い。本研究では農山村地域における地域型木造住宅を事例に、再生可能エネルギー利用の一例である薪ストーブ使用時の室内温熱環境形成と住宅の仕様との関係性に着目した。特にエネルギー消費量が多い冬季の暖房時における室内温熱環境形成の実態と、薪ストーブ使用との相性が良い住宅に仕様について明らかにした点は、森林資源に恵まれた我が国において今後の薪ストーブに代表される木質バイオマス燃焼機器の普及を図る上で意義のある知見が得られたものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 栗原広佑
2. 発表標題 薪ストーブ使用時に暖房室とその隣接・上階室に形成される室内温熱環境
3. 学会等名 日本生気象学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 栗原広佑
2. 発表標題 農村住宅における夏季・冬季の室内温熱環境形成と住まい方との関係に関する研究：山形県金山町の地域型住宅及び伝統型住宅を対象に
3. 学会等名 人間-生活環境系学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 栗原広佑
2. 発表標題 薪ストーブ使用時に形成される地域型木造住宅の室内温熱環境
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------